

原子カプラントのヒートバランスモデルの構築

Construction of Heat Balance Model for Nuclear Power Plant

中部電力(株)	稲垣 博光	Hiromitsu INAGAKI	Member
	榊原 玄大	Motohiro SAKAKIBARA	Non-member
(株) JERA	山田 康二	Koji YAMADA	Non-member

A study was conducted to apply a performance management method based on heat balance, which is used to detect the causes of efficiency deterioration and equipment abnormalities in thermal power plants, to nuclear power plants. A heat balance model was created for Hamaoka Nuclear Power Station Unit 4, and problems such as calculation problems due to errors in actual operation data and difficulty in calculating the amount of energy due to moist steam were solved.

Keywords: Heat balance, Thermal performance, Abnormality diagnosis, Steam turbine, Moisture separator heater

1. はじめに

火力プラントではプラントのヒートバランスの観点で個々の機器性能を把握することで、効率低下の原因や機器の異常を発見する業務(性能管理)が行われている。[1] 浜岡原子力発電所でヒートバランスによる性能管理は実施されていないが、今後、ベースロード電源として安定した運転を目指すうえで有力な道具になると考えられる。そこで、浜岡4号機を対象として、原子カプラントのヒートバランスモデルの構築について検討を行った。

2. ヒートバランスモデルの構築

2.1 実機データによる計算方法の開発

ヒートバランス計算は、複数の機器単位での仕様、および温度・圧力・流量等による厳密な数式に基づくため、設計値で計算可能であっても、誤差を含む実機データでは熱収支が合わなくなる等の不具合が生じる問題がある。そこで、浜岡4号機の実機データで動作可能なヒートバランスモデルを開発することとした。

浜岡4号機の機器構成で作成したモデルをベースに、EnergyWinの変数と実機運転データ(PID)を照合し該当するPIDがない場合には代用できるPIDを検討した。また、ヒートバランス計算で誤差が問題となる箇所についてモデルを修正した。加熱流体に対して被

加熱流体の流量が極めて大きい熱交換器では(例: グランド蒸気復水器)、わずかな温度の測定誤差で伝熱量が大きく変動して矛盾が生じ計算エラーとなるため、加熱側流体の温度から伝熱量を求めるようにした。

図1に、完成したヒートバランスモデルを示す。運用上必要となるツール(EnergyWinの入出力ファイルを作成するExcelマクロ)も合わせて作成した。

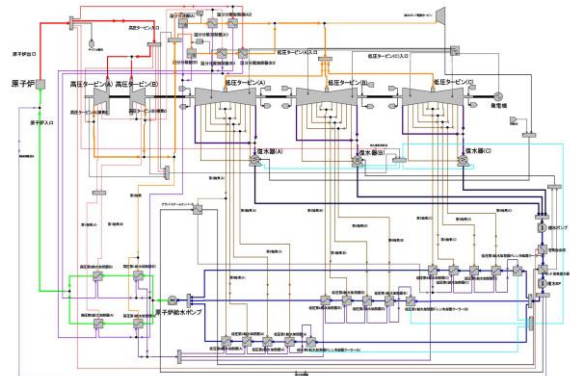


図1 浜岡4号機のヒートバランスモデル

注: 計算上のモデル構成で、実際の設備・系統と異なる部分が含まれる

2.2 計算に必要な数値の推定手法の開発

原子カプラントでは、火力プラントと異なりほとんどが湿り蒸気である。乾き蒸気では温度と圧力でエネルギー量が一義的に決まるが、湿り蒸気では測定困難な液滴の割合に依存するため、ヒートバランス計算で必須のエネルギー量の計算が困難になる。[2] そこで、湿り蒸気であることを考慮したエネルギー量等の数値の推定手法を開発した。

図2に、プラント全体の系統概略を示す。始め、実機データから直接算出できない湿り蒸気のエネルギー量（エンタルピー）を、乾き蒸気である湿分分離加熱器から低圧タービンへの蒸気（図2①）により算出することを考えたが、流量を測定していないため断念した。そこで、流量を測定している湿分分離加熱器の加熱蒸気（図2②③）から、次式で推定するようにした。

＜熱交換器における熱収支の式＞

低温側流体の流量＝高温側流体が失う熱量÷

（低温側流体の出口比エンタルピー－入口比エンタルピー）

上式で、低温側流体を主蒸気、高温側流体を湿分分離加熱器の加熱蒸気とすると、比エンタルピーは流体の温度と圧力の関数となるため、湿り蒸気である主蒸気の流量が求まり、エネルギー量を算出することができる。

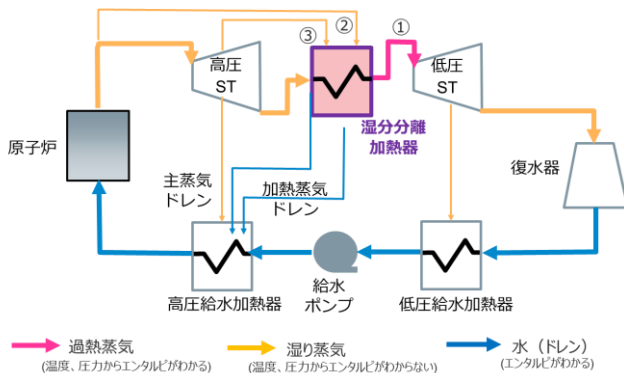


図2 プラント全体の系統概略

3. 実機データによるヒートバランス計算

開発したヒートバランスモデルの動作確認も含め、実機データによるヒートバランス計算を行った。対象は、各機器（高圧/低圧タービン、高圧/低圧給水加熱器、湿分分離加熱器）の性能値（断熱効率、熱落差、伝熱量、熱貫流率、末端温度差）の計26項目で、実機データとして、2009年11月～2010年9月の毎月1日の毎時1時間値（1分値60個の平均値）を用いた。

計算結果の例として、図3に低圧タービン（A）の断熱効率の推移を、図4に季節変動を考慮した評価の例として、復水器真空との相関を示す。図中の式は、断熱効率 $y[\%]$ と復水器真空 $x[\text{kPa}]$ の関係式で、決定係数が0.9942と極めて高い。これは断熱効率の動きが復水器真空からほぼ正確に予想できることを意味しており、EnergyWinで計算される断熱効率の推移をこの関係式と比較することで、異常診断が可能となる。

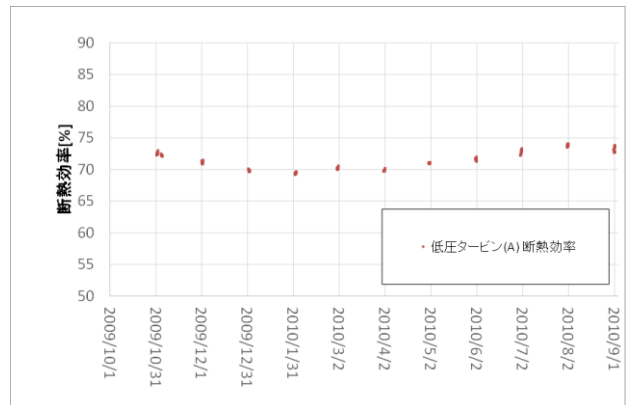


図3 低圧タービン(A) 断熱効率の推移

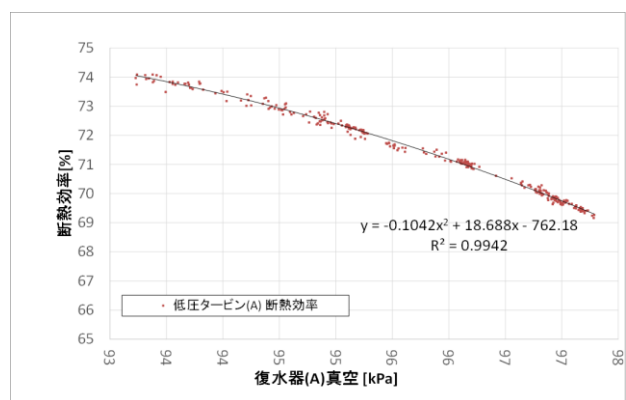


図4 低圧タービン(A) 断熱効率と復水器真空の相関

4. おわりに

浜岡4号機を対象にヒートバランスモデルを組み、実機データを用いて動作させ、各機器の熱的な動きを把握することができた。ヒートバランスモデルの活用方法として、正常時のトレンドデータからの異常診断、異常発生時の機器データからの原因解析、および機器取替時の性能評価が挙げられる。ただし、機器性能の絶対値評価には適しておらず、あくまで経年変化に基づく評価が推奨される。

今後、ヒートバランスモデルを用いた評価の頻度（日・週・月毎あるいは不具合発生時）や対象（機器、性能値）など、運用方法について検討を進める。

参考文献

[1] 山田康二, ”実運転データに基づくヒートバランス計算を用いた性能管理”, 平成25年度火力原子力発電大会論文集, pp.17-21.
 [2] 小野繁利, ”原子力発電プラント状態監視システムの構築と適用”, 平成25年度火力原子力発電大会論文集, pp.41-47.